JAXA's

［ジャクサス］August 2010
宇宙航空研究開発機構機関誌

No.033

川口淳一郎プロジェクトマネージャーが語る「はやぶさ」誕生秘話

夏休み特別編
「イカロス君にきいてみた」
小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」8つのQ(クエスチョン)

無重力空間を舞う鮮やかな光跡のアート「Spiral Top」

宇宙航空研究開発機構機関誌

CONTENTS

表紙：相模原キャンパスに展示されている「はやぶさ」の実物大模型と、川口淳一郎プロジェクトマネージャー

INTRODUCTION

事実は小説より奇なり、と言う。それをこれほど如実に現実のものにした「はやぶさ」は、私が人生で出会ったまれに見る存在だったと言える。そしてそれは、「はやぶさ」プロジェクトのど真ん中にいたあらゆるメンバーにとってそうであろう。個々の絶体絶命のピンチ――たとえば3基あるホイールの2基目が壊れた2005年10月3日、着陸したはずが理解に苦しむデータを残したままはるか彼方に飛び去った同年11月20日、二度目のイトカワ着陸・離陸後に姿勢制御装置のヒドラジンがすべて漏洩し化学スラスタが使えないことが判明した同年12月2日、チームの奮闘むなしく遂に「はやぶさ」が連絡を完全に絶った同年12月8日、帰路最後のイオンエンジンが故障して万事休すと思われた09年11月4日――考えてみれば、その度ごとに奇跡的に見事に方策を見出し、編み出し、工夫して乗り越えてきた。

中でも私が目撃した05年11月から12月にかけての管制室での5回にわたるイトカワへの降下オペレーションは、思い出しても目頭の熱くなるような感動的な光景だった。そこでは、繰り返し襲ってくる人生で初めての試練と難題に、懸命に取り組む若いスタッフの美しい姿があった。昨日は3kmを降下するためにぎこちなく慎重なやりとりと手つきをしていた面々が、今日は「はやぶさ」に同じ距離を降下させるのに、スムーズで慣れた手さばきでオペレーションをこなしている。技術的な問題を解決するために必死になっているのに、日一日と自信と輝きを増しながら成長していく素敵な表情とチームワーク――逆境は人間を鍛える。読書を何年間も続けても、若者たちをこれほど加速度的に進歩させることはないであろう。

その「はやぶさ」の小さな体が文字通り燃え尽きていった空に、今日も宵の明星が光を放っている。さあ次は「あかつき」と「イカロス」にわれわれの主戦場を移そう。日本の太陽系探査が世界をリードする時代を、宇宙科学にたずさわるすべての人々の力で切り拓いていこう。

「はやぶさ」の余韻を日本の未来をつくる情熱に合流させて、新たな共感の世紀にふさわしい事業に挑戦しよう。

技術参与　的川泰宣

特集

川口淳一郎 プロジェクトマネージャーが語る 「はやぶさ」誕生秘話

小惑星イトカワへの往復の旅の最後を「はやぶさ」は、予定通りの時刻での大気圏再突入で締めくくった。鮮やかに尾を引く輝きとともに役割を終えてからほどなく、カプセルから発されたビーコン電波によって着地点が特定され、出動したヘリコプターによってカプセルとパラシュートが発見された。

さらに翌日の回収作業中にはヒートシールド（耐熱殻）も発見。現地作業は予想以上の順調さで進み、6月18日未明、カプセルは7年4か月ぶりに相模原キャンパスへの帰還を果たした。小惑星サンプルの分析に向けた慎重な作業は、現在も続けられている。

プロジェクトを率いてきた川口淳一郎教授は、打ち上げから7年目の節目に合わせ、帰還特設サイトに寄せた一稿『「はやぶさ」、そうまでして君は。』の中で、この再突入カプセルを「はやぶさのたまご」に例えている。

まるで人格を持つかのようなふるまいを幾度となく見せた「はやぶさ」が、自身の覚悟や願いを後継機に伝えてくれ、と託した「たまご」なのだ、と。

本稿では「はやぶさ」自身がまだ「たまご」だった頃――このミッションの始動前後のエピソードから川口教授に聞いた。そこには、何事かを成そうと野心を抱く人たちへの、重要な示唆が含まれているかもしれない。

（取材・構成／喜多充成）

6月13日、相模原管制室で「はやぶさ」の帰還を見届ける川口教授ら

写真で振り返る「あの日」「あの時」

6/5

電波方向探査機材の設営

6/13

15時06分
すばる望遠鏡が「はやぶさ」をとらえる

すばる望遠鏡が約17万kmを隔てた「はやぶさ」の撮影に成功。約21等級の明るさだった。（マウナケア山頂・左端がすばる望遠鏡）

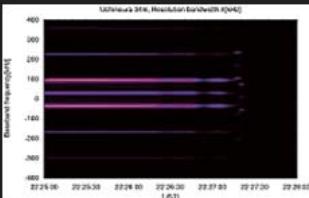
19時51分
カプセル分離の指令を送る
（相模原キャンパス管制室）

直後に「はやぶさ」の姿勢の乱れを検知、分離が確認された。ここから最後のミッション、地球撮像にトライする

22時27分すぎ
はやぶさからの電波が途絶える
内之浦宇宙空間観測所（鹿児島県）

内之浦局が追っていた「はやぶさ」は、水平線に入り、電波が途絶えた。ちょうどこの時、「はやぶさが最後に見た地球」の写真を送信中だった

相模原キャンパス管制室

花束が運用支援スタッフに贈られた

―帰還が近づくにつれ「はやぶさ」は、単なる科学ミッションの枠を越えた社会現象となりました。「挑戦する気持ち」や「あきらめない心」などを、感動とともに多くの人に伝え、自身のフィナーレの輝きでそれを強く印象づけたと思います。

川口　思いのほかの広がりに、プロジェクトチームのメンバーは大いに勇気づけられました。あらためて感謝したいと思います。

―川口先生自身はこの「小惑星サンプルリターン計画」を、どんな思いでスタートさせたんでしょうか？

川口　一番の動機は、悔しさだったかもしれません。

―悔しさ、ですか？

川口　「このままでは置いていかれる」という気持ちが、大きな動機の1つでした。1980年代終わり頃の話ですが、当時の宇宙研はNASAのジェット推進研究所（JPL）と共同で、惑星探査の研究会を始めることになった。彗星のコマ（核の周囲）の探査や小惑星とのランデブー観測などを研究テーマとしましたが、なにしろNASAのパワーは圧倒的です。私たちにはとても手が出ないような探査ミッションでも、彼らは独力でしかも既存技術を組み合わせれば可能になる。

―予算規模でも人員でも実績でも、差はあまりに大きい……。

川口　そのうちに小惑星のランデブー探査のための「NEAR（のちのNEARシューメーカー）」や、Stardust（彗星塵のサンプルリターン）を立ち上げてしまった。

―置いていかれた気分ですか。

川口　彼らに悪気はなかったと思いますよ。でも、彼らの目こぼしを待っていては、いつまでたってもスタートは切れない。なんとか彼らにも手が出ないような、オリジナリティのある、野心的なミッションを考え出さねばならない……。その一念で、思わず口走るように述べてしまったのが「イオンエンジンによる小惑星サンプルリターン計画」でした。

―相当に無謀な挑戦だったんでしょうか？

川口　どう見ても日本は宇宙探査のビギナーでした。ようやく独力で人工衛星を上げたのは、アポロ月着陸の翌年の70年（「おおすみ」）。ハレー彗星の探査に乗り出したのも、スペースシャトル運用開始後です。「シャトルが上がれば、使い捨てロケットは不要になる」と言われた時代に、小さな使い捨てロケットで小さな衛星を打ち上げ、1個上がったらお祭り騒ぎをしている……。そんな日本が「小惑星への往復航行、そしてサンプルリターンだ」と言うわけですから。それに、私はあまのじゃくで、「人がやったことはやらない主義」でしたし。

―ずいぶん背伸びした計画だったわけですね。

川口　すごく背伸びということでいえば、帰還後の今も変わっていませんし、宇宙研が培ってきた蓄積があればこそ背伸びができたとも思っています。たとえばイオンエンジン。ずっと電気推進の研究に取り組んでおられた栗木恭一先生がいらっしゃった。

―高効率で長寿命の「イオンエンジン」が往復航行のカギだったわけですよね。

川口　とくにマイクロ波駆動のイオンエンジンである点が重要でした。イオンエンジンそのものは化学エンジンに比べればはるかに高効率ですが、いくつかタイプがあるイオンエンジンの中では、マイクロ波駆動のタイプは必ずしも効率が良いわけではない。しかし長寿命は期待できる……。

―しかし、「高効率」はすぐ実証できても、「長寿命」を証明するには長い時間がかかります。待つ側にも忍耐が必要。

川口　他の方式のイオンエンジンを使ってみないかと打診されたり、帰路に固体ロケットを使うプランも検討してみたりもしました。最後は栗木先生に「ほんとうに大丈夫でしょうか？」と伺いましたが、そうしたら「（弟子の）國中君もがんばるから、やらせてあげてほしい」と。

―イオンエンジンもそうですが、最後の最後に再突入カプセルを守るという重要な仕事をした

22時51分すぎ
再突入の火球を観測
（NASA・DC-8観測機）

明るい光の尾を引いて輝く「はやぶさ」と、カプセル（画像提供NASA）

相模原キャンパス
パブリックビュー会場

深夜の相模原キャンパスには1,000人以上の人々が詰めかけ、はやぶさのフィナーレに歓声を上げた

23時56分
カプセル発見
WPA・着地点上空

カプセルとパラシュートがヘリコプターから目視確認された（WPA=ウーメラ実験場（立入禁止区域））

WPA・コントロールセンター

カプセル発見の報せに笑顔で握手を交わす、回収隊リーダーの國中均教授と豪軍側の運用責任者

「ヒートシールド」（下記で解説）もカギだったのではないですか？

川口　じつはこれも当初、アメリカ製のものを購入しようかと迷っていた時期がありました。しかし大気圏への再突入技術は、機微情報に関わる。NASAからの協力は試験施設を使わせてもらうにとどめ、自主開発としました。これも自分たちでやってよかったと思っています。

また計画の立ち上げの時期が近いため、宇宙研の所内ではASTRO−F（赤外線天文衛星「あかり」、2006年2月打ち上げ）がMUSES−C（「はやぶさ」が打ち上がる前の名称）の競争相手となっていましたが。

――どちらに予算が先につくか……。

川口　計画を進めていた奥田治之先生は「MUSES−Cなら、負けてもいいよ」とおっしゃってくれた。

――なんと。

川口　当事者が言うのもヘンですが、いろんな先輩方の支持や理解があり、知らないうちに最有力候補になっていたんですね。

――古くからの関係者に聞くと、「よくこんな無謀な計画に予算がついた」「戻ってこられると思っている人はほとんどいなかった」と皆さん口を揃えておっしゃいます。

川口　「戻って来られない」どころか「到着できるかどうか」と（笑）。それでも1995年に概算

COLUMN 「はやぶさのたまご」を守った「ヒートシールド」

イトカワ表面のサンプルが期待される再突入カプセルが「はやぶさ」から分離されたのは、地球大気圏への再突入を3時間後に控えた6月13日19時51分のこと。

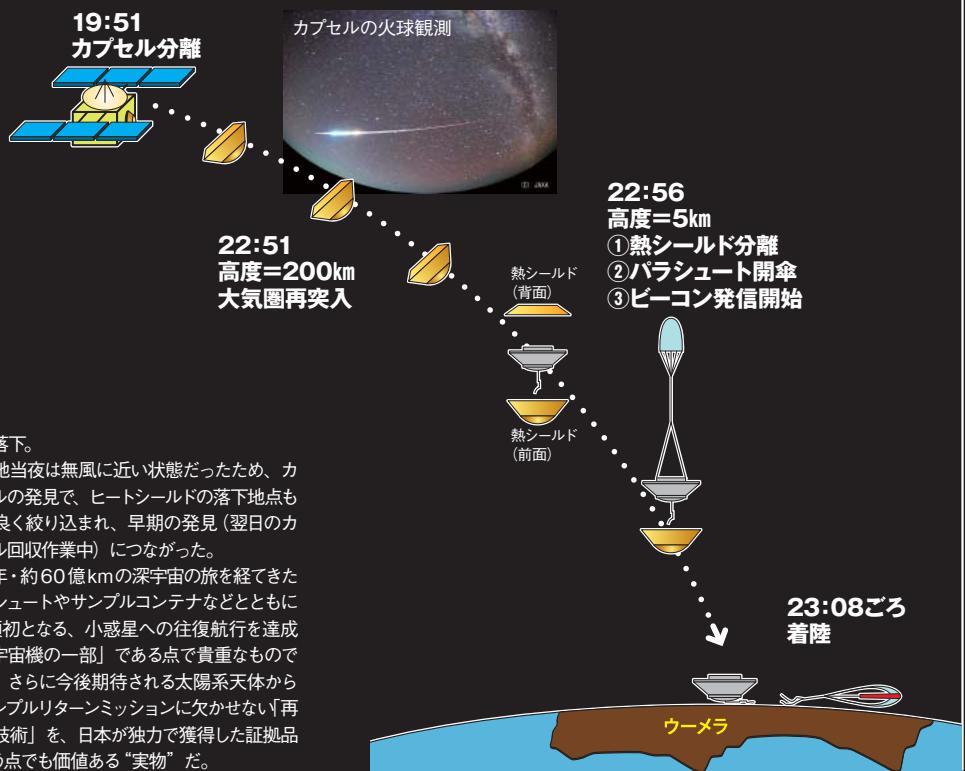
カプセルは再突入時、1万〜2万度の高温にさらされる。秒速約12kmという速度は、地球周回軌道からの再突入の約1.5倍だが、カプセルが受ける熱量は10倍以上。それほどの高熱からカプセルを守る役割を果たすのが「ヒートシールド」だ。

お椀型の2ピースからなる構造物で、素材は、スポーツ用具や航空機の構造材などで使われる「CFRP」（炭素繊維強化プラスチック）と、食器や日用品などに使われるフェノール樹脂の一種「カーボンフェノリック」。

この樹脂は、高熱にさらされると内部からガス化し、ガスが表面にしみ出して薄い層をつくる。それにより、カプセルに加わる熱をさえぎり（シールド効果）、カプセルが一定以上の温度に上がらないようにする役割を果たす。樹脂層の厚みがどの程度あれば、再突入の高熱に耐えることができるのかが、今回実証されたことになる。

カプセルが大気による減速を受けながらある高度まで降りてきた時点で、火工品（火薬を用いた機構）によりヒートシールドが分離され、パラシュートが開き、位置を示すビーコン電波が発信される。カプセルはゆっくりと着地したが、ヒートシールドはカプセルと離れた場所に落下。

着地当夜は無風に近い状態だったため、カプセルの発見で、ヒートシールドの落下地点も精度良く絞り込まれ、早期の発見（翌日のカプセル回収作業中）につながった。

7年・約60億kmの深宇宙の旅を経てきたパラシュートやサンプルコンテナなどとともに「人類初となる、小惑星への往復航行を達成した宇宙機の一部」である点で貴重なものであり、さらに今後期待される太陽系天体からのサンプルリターンミッションに欠かせない「再突入技術」を、日本が独力で獲得した証拠品という点でも価値ある“実物”だ。

時刻はすべて日本時間（6月13日）

6/14

14時ごろ ヒートシールド発見

カプセル着地点の近くで、ヒートシールド（前面・背面とも）が発見された

カプセル回収作業

防護服に身を包み、火工品（火薬を使う機構部品）のケーブルを切断するなどの安全化作業。参照のため、周辺の砂も採取

6/15

カプセル安全化作業 WPA・コントロールセンター内の簡易クリーンルームにて

カプセル下側のフタを外した状態

ヒートシールド回収作業

要求し予算がついて、翌年にプロジェクトがスタートしています。

――挑戦的なミッションだったからこそ、期待もされた？

川口　ハードルが非常に高いことは分かっていただけていたと思います。役所にも「コレ全部、達成できると思っているの？」と言われたほど（笑）。今だから言えますが、よくもまあこんな計画に予算を付けていただいた。「英断」だったと思いますし、バブルの余韻がまだあった時期だったからかもしれません。

＊

――「探査機は新規開発要素の塊だった。それらすべての開発が打ち上げに間に合ったのは、幸運というより奇跡的だった」とメールマガジンで書いておられましたね。直前のM-Vロケット4号機のトラブル（2000年2月）で打ち上げが延期、探査対象となる小惑星を変更せざるを得なくなるという事態にも。はやぶさの7年間の旅は、実は始まる前から苦難の連続だった……。

川口　そもそも探査対象となる小天体は非常に少なく、出発のタイミングも限られます。打ち上げ時期が延びたために新たな探査対象を探し「1998SF36」という小惑星が見つかったが、M-Vロケットの能力だけではそこに到達できないことも分かって……。

――「イトカワ」には行けないはずだった？

川口　苦心して検討を重ね、地球スイングバイとイオンエンジンの組み合わせで往復航行が可能になる方法を見い出した。地球近傍で1年間イオンエンジンを運転してエネルギーを〝貯金〟し、地球スイングバイでそれを一気に引き出してイトカワへ向かう軌道に乗る、という軌道計画です。

　このプランを説明したところ、当時月探査機LUNER-Aを進めていた水谷仁先生（現・科学雑誌『Newton』編集長）が、「（アイデアを）考えついちゃったんだから……。（MUSES-Cが）先でいいね」と。

――打ち上げ機会を譲ってくれたわけですか。では、そのときのNASAの動向は。

川口　いろんな枠組みでNASAとは協力関係を結んでいました。探査ローバーの搭載、深宇宙追跡局の運用協力、ユタ州の砂漠に再突入させてもらう、など。NASAは他機関と共同で計画が動いているうちは、1人で先に進めるようなことはない。我々にしたら「保険」だったわけですが、ローバーは費用がかさみキャンセル、探査対象の天体が変わったことで北米に戻って来ることもできなくなり、協力の枠組みがボロボロ崩れていくわけです。わずかに「サンプルの分配」だけが、彼らの関心をつなぎとめていた。

――「とらぬ狸の皮」だけが、約束の証しだった……。

川口　危惧していたのは、しびれを切らしたNASAがまた独力で探査計画を立ち上げてしまうのではないか、ということでした。さらに、着陸地がオーストラリアとなるため、当時はまったくツテのなかった豪州当局と話をして、約束をとりつけておかなければならない。プロジェクトが立ち上がる前後は、いろんな心配を抱えながら、あちこちを歩き回って交渉し、協力や理解をとりつける、という日々でした。

――03年5月9日の打ち上げで使われたM-Vロケット5号機は、4号機の事故からの再開初号機とはいえ、第2段と第4段がほぼ新開発。つまりほとんど新型のロケットだったそうですね。「挑戦」といわれればそうでしょうが、「綱渡り」とも言えます。

川口　「入学試験のようだ」と聞かされていましたが、自分にできることは何もないわけで、まるで死刑台に登るような気分でした。でも順調すぎるくらい順調で、打

2014年 打ち上げ ←

「はやぶさ2」サンプルリターン計画

「はやぶさ2」の目指す探査天体は、有機物や含水鉱物をより多く含むと考えられるC型小惑星です。太陽系が生まれたときにどのような有機物があったのか、水はどのような状態で存在したのか、そして、現在の生命や地球の海との関係はどうなっているのかなど、非常に面白いテーマに挑戦します。

6/16

カプセル梱包作業
表面のクリーニング
WPA・コントロールセンター内の簡易クリーンルーム

6/17

カプセル梱包作業
WPA・コントロールセンター
専用の輸送容器に収め、窒素ガスを充填

日本に向け出発
近隣の空港からチャーター機で日本に向け出発。ノンストップフライトで同日深夜に東京国際空港（羽田）に到着。

6/18

02時15分
相模原到着
相模原キャンパス到着
キュレーションセンターへ搬入

ち上げからわずか20分後に探査機が正常に機能していることを確認できた。嬉しい驚きでしたね。

――当事者にとって「はやぶさ7年の旅」は、心配したりホッとさせられたりの振れ幅が、始まる前から大きい旅だったわけですね。

*

――7年の長きにわたりチームを率いていく中で、とくにマネジメントの点で心がけたことは何ですか?

川口　プロジェクトマネージャーという肩書きながら、マネジメントらしいことをやった覚えはないんです。私が何もしなくてもみな意欲的に、次々とアイデアを出してくれた。探査計画そのものに魅力を感じてくれたからだろうと思っています。

――それは、打ち上げ機会を譲ってくれた諸先輩がたのご理解と通じるところがあるのかもしれませんね。実際の運用の現場では?

川口　意識したのは、実績にとらわれず、立場も関係なく、良い意見を採用する方針を貫いたことです。たとえば05年11月、最初の3回のリハーサル降下（4日、9日、12日）の後、せっぱ詰まった中で新たな航法プログラムを編み出し、後の2回のタッチダウン（20日、26日）に使いました。NECの白川さんたちのチーム（9ページに登場）による航法プログラムで、自律航法に人間が介在する部分をほどよくミックスしたものです。これはそれまで全く試みたことのなかった方法でしたが、やってみてアプローチの精度が全然違いました。

――記者会見では「秒速1㎝、つまり虫の歩く速度のオーダーで、探査機を制御できている」とおっしゃってました。

川口　降下中、「このまま行くと少し着地位置がズレるかな」と思った方向に、思った分だけズレました。これは誇っていいものだと思います。

――提案されている「はやぶさ2」では、小惑星の内部の物質を衝突体を衝突させて調べるプランがあります。飛び散った破片を避けるため、探査機はいったん小惑星のカゲに隠れ、しばらくしてから出てくる……。器用に小惑星の回りを飛び回る、非常に精密な誘導制御が必要ですよね。

川口　まさにその技術を「はやぶさ」で獲得したわけです。それがあるからこそ、こういう提案もできる。これを「日本の強み」にしていきたいという気持ちもあります。

――強みを実力にするには、場数が必要ですね。続くプロジェクトで探査実績を上げていくことがそれにつながります。

川口　「はやぶさ」は幸運な探査機でした。その運を実力にしていくのがこれからの仕事です。「はやぶさ」のヘリテイジ（遺産）を引き継ぐチームやプロジェクトを、引き続き応援していただければと思います。

PROJECT

2018年
探査機が小惑星に到着し、小惑星の観測、ローバー（ランダ）の投下、サンプリングを行う。

2019年
探査機本体から「衝突装置」を分離し、衝突装置から発射された衝突体が小惑星に衝突する。小惑星表面にクレーターができる。

探査機は小惑星の背後に回り込み破片を回避。

タッチダウンし露出した地下物質を採取。さらなる探査を行う。

2020年
地球帰還

サンプル分析

イメージ図(©池下章裕)

化学エンジンやイオンエンジンに、燃料を送る
仕組みを作ってくれた
高見剛史さん
三菱重工業㈱長崎造船所
特殊機械部 宇宙機器設計課

［化学推進系及びイオンエンジン燃料供給系担当］

「イオンエンジンの燃料供給系は、最後の最後まで働いてくれたので達成感はありますが、『はやぶさ』が終わってしまった喪失感のほうが大きいです。満足感としてはイトカワへの着陸・離陸時の化学推進系の作動の時が最高でした。あの、イトカワに映った“はやぶさの影”は忘れられません」

飛んでいるコースを
正確に見きわめてくれた
大西隆史さん
富士通㈱テクニカルコンピューティング・ソリューション事業本部 科学システムソリューション統括部

［軌道決定担当］

「とても『狭き門』だけど、突破できれば次に進むための大きなステップになる。だから再突入は、いわば入学試験」とメッセージを寄せていただいていましたが——。
「6月のウーメラ砂漠に、でっかい桜が咲きました。TCM（軌道修正）の間は、イオンエンジンの調子をハラハラしながら評価し、見守っていましたが、『はやぶさ』は、まるで強い意志を持っているかのように、見事に完走しました。ありがとう、『はやぶさ』。故郷の星で風となり、ゆっくり休んでください」

通信アンテナの
面倒を見てくれた
長谷一水さん
三菱電機㈱通信機製作所
インフラ情報システム部
情報システム品質管理課兼地上システム課

［臼田・内之浦宇宙観測所のアンテナ設備・運用支援担当］

「臼田・内之浦のアンテナ設備と運用支援を通じ、大プロジェクトを少しだけですが、お手伝いをさせていただいたことは、光栄でした。再突入時の輝く映像を見た時、ただいま、との声が聴こえたように思えました」

充電式のリチウムイオン電池を
作ってくれた
大登裕樹さん
古河電池㈱事業本部産業機器生産統括部
アルカリ電池部宇航技術グループ

［リチウムイオンバッテリー開発担当］

「カプセルのフタを閉めるため、故障したリチウムイオン二次電池を復活させようと、地上で検証試験を繰り返した時のことを思い出します。何度困難に遭遇しても、不思議なほど“あきらめる”という気持ちが起きなかった7年間の旅でした。『はやぶさ』と、『はやぶさ』を支える人たちとともにゴールできたことを、たいへん嬉しく思っています」

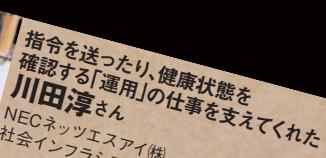
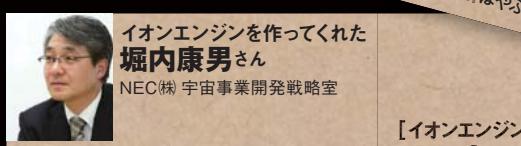
「はやぶさ」を支え、見守りつづけた人々

7年間の長い旅。いつもたくさんの人たちが「はやぶさ」を支えてくれていました。
関わったみなさんは、「はやぶさ」が帰ってきてくれて、ホッとしたり、喜んだり、ちょっと寂しく感じたり……。ここでは会社での仕事を通じ、「はやぶさ」をいろいろな面から助けてくれた、方々に登場してもらいます。
みなさんは、いってみれば「はやぶさのお父さん」。
帰還前にもらったメッセージや帰還後に寄せてくれたメッセージを、写真といっしょにご紹介します。

臼田のアンテナ設備の
お守りをしてくれた
狩野光夫さん
NECネッツエスアイ㈱
社会インフラシステム事業部

［臼田宇宙空間観測所局運用支援担当］

「火星探査機『のぞみ』の運用では、いつ現れるかわからない信号を見落とさないよう、注意深く毎日可視時間中（約7時間）探し続ける作業を行ったこともありました。今回の『はやぶさ』で、まさかその経験が生かされるとは」とメッセージを寄せていただいていましたが——。
「臼田宇宙空間観測所で7年間『はやぶさ』の運用に携われたことを誇りに思います。幾多の苦難を乗り越えて無事地球に帰還し、燃え尽きる『はやぶさ』に『お帰り』『ありがとう』と、心の中でつぶきました。私は『はやぶさ』から多くを学びました。その経験を今後の仕事に生かしたいと思います」

指令を送ったり、健康状態を
確認する「運用」の仕事を支えてくれた
川田淳さん
NECネッツエスアイ㈱
社会インフラシステム事業部

［相模原管制センター運用支援担当］

「最後の運用日である6月13日。『はやぶさ』が地平線の下へ隠れ電波が受信できなくなったそのとき、長年担当してきた“運用支援”という自分の役割も終わりました。無事ここまでやり遂げられた安堵感とともに、若干の寂しさも……。見事な地球帰還を見せてくれた『はやぶさ』に感謝し、感激しています」

イオンエンジンを作ってくれた
堀内康男さん
NEC㈱ 宇宙事業開発戦略室

［イオンエンジン開発担当］

「決して順風満帆とはいえなかった7年間の航海を、立派に『完走』してくれたイオンエンジンを生みの親の1人として誇らしく思います。同時に、よちよち歩きの頃からエンジンを見守り、大事に育てて下さったISAS電気推進部門のスタッフと学生の皆様への感謝の気持ちで一杯です」
　これがなければ地球に戻って来られなかった、「イオンエンジンのクロス運転」を可能にする回路を仕込んでおいた方だそうです。

同じく、相模原で
運用を支えてくれた
中村陽介さん
NECネッツエスアイ㈱
社会インフラシステム事業部

［相模原管制センター運用支援担当］

「NASAやニュースの動画で『はやぶさ』の輝きを見た時、本当に『はやぶさ』を地球へ帰すことができたのだと実感し、同時に自分の役割が1つ終わった寂しさも感じました。『はやぶさ』とともにあった7年間。『はやぶさ』に成長させてもらったことに感謝し、良く帰ってきてくれたと感謝しています」

「はやぶさ」7年の旅

2003
5月9日 内之浦宇宙空間観測所より打ち上げ。「はやぶさ」と命名

▶M-Vロケット5号機、13時29分25秒に打ち上げ

2004
5月19日 イオンエンジンを併用した地球スイングバイによる加速に成功

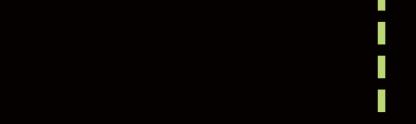
2005
7月26日 野口聡一宇宙飛行士「ディスカバリー号」で打ち上げ（8月9日帰還）
8月15日 リアクションホイール1基の故障を発表
9月12日 イトカワ到着
科学観測を開始
▶小惑星「イトカワ」2005年9月29日撮影
10月4日 リアクションホイール2基目の故障を発表
11月4・9・12日 リハーサル降下試験実施
11月20日 1回目のタッチダウン。ターゲットマーカ放出
11月26日 2回目のタッチダウン成功、離脱後セーフホールドモードに
12月8日 化学エンジン燃料漏洩に起因する故障で、姿勢喪失。帰還の3年延期を発表。ほどなく通信途絶

2006
1月26日「はやぶさ」と地上との通信が一部復活
3月6日 3か月ぶりに正確な位置と速度を計測
6月2日 科学雑誌『サイエンス』がイトカワを特集

▶『サイエンス』表紙

2007
1月18日 故障したバッテリーを使ってのカプセルのフタ閉め運用を実施
4月 帰還に向け第1期軌道変換開始（〜同年10月）

2009
2月 第2期軌道変換開始
3月16日 若田光一宇宙飛行士「ディスカバリー号」で打ち上げ（7月31日「エンデバー号」で帰還）
7月22日 国内では46年ぶりとなる皆既日食を観測
11月4日「全イオンエンジンが停止、再起動に至らず」と発表
11月19日 2基のイオンエンジンによる「クロス運転」に成功、帰還再開
◀「はやぶさ」との通信を担った臼田宇宙観測所の64mパラボナアンテナ
12月21日 野口聡一宇宙飛行士「ソユーズ宇宙船」で打ち上げ

2010
3月27日 帰還に向けた軌道変換完了。イオンエンジンの連続運転終了
4月5日 山崎直子宇宙飛行士「ディスカバリー号」で打ち上げ（4月20日帰還）
4月16日 オーストラリア政府からの着陸許可を得て、再突入に向けた軌道修正が始まる
5月21日 金星探査機「あかつき」、小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」打ち上げ
6月2日 野口聡一宇宙飛行士「ソユーズ宇宙船」で帰還
6月9日 再突入に向けた軌道修正を完了、イオンエンジンの運用を終了
6月13日 地球帰還
◀相模原キャンパスのキュレーションセンターで初期分析に向けた作業が進められている

姿勢を保ち、ねらい通りのコースに乗せるため、いろいろ手を打ってくれた
松岡正敏さん
NEC航空宇宙システム㈱
宇宙・情報システム事業部
［姿勢軌道制御系担当］

「事前に何度も計算をし、確認をして問題ないことはわかっていましたが、それでもカプセルが無事に大気圏に突入できるのか、一抹の不安を持っていました。オーストラリアのカプセル回収班から、ほぼ予定通りの時刻にカプセル・母船の軌跡が確認できたとの連絡をうけたとき、ようやく安心できました」

同じく、姿勢・軌道軌道系を担当した
白川健一さん
NEC航空宇宙システム㈱
宇宙・情報システム事業部
［姿勢軌道制御系担当］

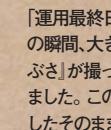
「妙なたとえになりますが、小川に浮かぶビーチボールを、釣竿の先でちょこちょこと、岸辺から押して進路を調整し、何日もかけ河口に誘導する……。そんな感じに近いかもしれません」とメッセージを寄せてくれていましたが——。
「おかえりなさい。長旅ご苦労さま。カプセルを残して燃えつきる姿に、そんな言葉をかけていました。運用終了を実感したのは、翌朝、姿勢運用の夢で目が覚めたときです。コマンドを送ろうとするのだけれど、受け取る相手がいないことに気づき、目が覚める……。ちょっと切ない夢でした」

管制局の仕事を支えてくれた
杉浦正典さん
NEC航空宇宙システム㈱
宇宙・情報システム事業部
［局運用システム担当］

「帰還おめでとうございます。長く宇宙開発に関わる仕事をさせていただいていますが、これほど広くたくさんの方々から応援された探査機・衛星は記憶にありません。帰還時の光跡は多くの子供たちに宇宙への夢を与えたことでしょう。このプロジェクトに少しでも参加できたことを誇りに思います」

着地を安全に行う仕組みを考えてくれた
小笠原雅弘さん
NEC航空宇宙システム㈱
宇宙・情報システム事業部
［ターゲットマーカ／フラッシュ担当］

「イトカワの表面にそっと置かれたターゲットマーカ。12時間に1回、太陽の光を受けて今もまだ光っているだろうか？ オーストラリアの空をよぎった一筋の流れ星、『はやぶさ』は虚空に散っていった……。待てよ、本当は懐かしいターゲットマーカの光を求めて、またイトカワに旅立ったのかもしれないね」

メンバーが働きやすいよう気を配ってきた
萩野慎二さん
NEC ㈱宇宙システム事業部
宇宙システム部
［NECの「はやぶさ」プロジェクトマネジメント担当］

「運用最終日、カプセルの分離時が緊張のピークでした。分離確認の瞬間、大きく深呼吸したのを覚えています。運用が終わり、『はやぶさ』が撮った最後の地球の画像を見た時、その美しさに圧倒されました。この画像を、キレイに補正したものだけでなく、スミアを残したそのままの形でも発表していただいたことに、感謝です」

「はやぶさ」の電力をまかなってきた
吉田禎仁さん
NEC東芝スペースシステム㈱
技術本部 搭載機器2グループ
［電源系担当］

「タッチダウンで過放電故障したバッテリを何とか充電し、カプセルのフタを閉めて、バッテリは命が尽きました。残る電源系の最後の仕事である、コンデンサバンク電源によるカプセル分離にも成功。NASAが撮影した火球のビデオの両脇で、飛び去る2つの大きな炎は、太陽電池だったでしょうか……。ほんとうに、よくぞ帰ってきてくれました」

「はやぶさ」が初めて見た地球、最後に見た地球

打ち上げから1年後の2004年5月18日、スイングバイをひかえた「はやぶさ」が撮影した地球（右）と、2010年6月13日、カプセルを分離した後、大気圏突入までに残されたわずかな時間を使って撮影したラストショット（左）。さまざまな困難を乗り越えて帰ってきたはやぶさに、その「目」でもう一度地球を見せたいとの川口教授らの思いからカメラの電源が入れられた。5〜6枚とった写真のうちの1枚に、地球が写っていた

再突入経路の北側から撮影された「はやぶさ」とカプセルの光跡。画面の右下から現れ、２度の大きな発光を経て、左上に消えていった。クルマのルーフに反射光が、地面には影が落ちており、雲影とともに発光の強さをうかがわせる

「わくわく、はらはら、やきもき」させ続けた「はやぶさ」。その7年間を描く拙著『小惑星探査機はやぶさの大冒険』（マガジンハウス刊）の最終章を書くために、「はやぶさ」の最期はどうしても見たかった。その姿は、この7年間、頭の中に描く数億km彼方のイメージでしかなかったからだ。その「はやぶさ」が、私の頭上でこんな形で、最期を見せるとは思ってもみなかった。「はやぶさ」は、20kgも残っていたイオンエンジンの推進剤キセノン、化学推進エンジンの酸化剤を一気に燃やし、7年間におよぶ宇宙大航海のフィナーレを壮絶なまでの大星空という舞台で演じたのだった。「はやぶさ」、君は最後まで大したヤツだった。（山根一眞・2010年6月13日午後11時21分過ぎ、豪州ウーメラWPAにて）。

※撮影・山口大志

※この写真へのお問い合わせは山根事務所ホームページへ。

http://www.yamane-office.co.jp/

野口聡一宇宙飛行士
163日の長期滞在ミッションを終え

2010年6月2日午後0時25分（日本時間、以下同）、野口聡一宇宙飛行士が搭乗したソユーズTMA—17はカザフスタン共和国に着陸しました。野口宇宙飛行士の宇宙滞在期間は163日5時間33分でした。第22次／23次長期滞在クルーのフライトエンジニアとしてミッションを無事に完了させた野口宇宙飛行士。その活動を振り返ります。

ソユーズTMA—17が国際宇宙ステーション（ISS）を離れたのは着陸の3時間21分前でした。それから2時間30分後の着陸51分前に軌道離脱エンジンを噴射、24分前にモジュールの分離を行い、宇宙飛行士の乗った帰還モジュールは黒海上空で大気圏に再突入しました。帰還モジュールはパラシュートを展開して降下し、着陸2秒前に着地用逆噴射ロケットが点火され、無事アルカリク近くの草原に着陸しました。回収チームが現場に向かい、第22／23次ISS長期滞在クルーのオレッグ・コトフ宇宙飛行士（ロシア）、野口聡一宇宙飛行士、ティモシー・クリーマー宇宙飛行士（アメリカ）が元気な姿を現しました。

「ハッチが開くと、カザフスタンの平原が広がり、空は抜けるように青く、草と土のにおいがカプセルに入ってきました。それまで暮らしていたISSとはまるで別の世界に来たという感じでした」と、野口宇宙飛行士はその時の印象を語っています。

子アーム取り付け成功「きぼう」の基本機能確立

今回の野口宇宙飛行士のISS長期滞在は、ISSの運用や維持管理、「きぼう」日本実験棟などでの宇宙実験を通じて、日本が国際水準の有人宇宙技術に関する経験を蓄積したという点でも、大きな意味をもっています。また、野口宇宙飛行士は無重量環境下での数々の実験を行い、新たな科学的知見を発見し、産業応用への道をひらく成果が期待されています。

ISSに到着した野口宇宙飛行士が最初に行った作業の1つが、「きぼう」ロボットアームの子アームの組み立てでした。子アームは細かい作業をする時に使用するもので、「きぼう」ロボットアーム（親アーム）の先端に取り付けることになります。組み立て後、野口宇宙飛行士は子アームをエアロックに収納しました。エアロックを初めて運用して、子アームの搬出と親アームへの取り付けは3月になってから行われ、その後、機能の確認が行われました。これによって「きぼう」の全システム機器の取り付け・機能確認が完了し、「きぼう」の基本機能が確立しました。

山崎直子宇宙飛行士と共に日本人宇宙飛行士の活躍の場を広げる

2月6日にISSにドッキングしたスペースシャトル、エンデバー号は、ISSの新たなモジュール、トランクウィリティー（ノード3）を運んできました。トランクウィリティーはユニティ（ノード1）の左舷側に取り付けられました。また、トランクウィリティーに取り付けて運ばれてきたキューポラは、トランクウィリティーの地球側に移設されました。キューポラは7枚の窓とISSロボットアームの操作卓などを備えた観測用ユニットで、地球を見たり撮影するには最適の場所となりました。

野口宇宙飛行士らの長期滞在は最初5名体制で行われましたが、途中第22次クルーが帰還。4月4日に第23次クルーが乗ったソユーズTMA—18によって、ロシアのアレクサンダー・スクボルソフ、ミカエル・コニエンコ、アメリカのトレーシー・カードウェル宇宙飛行士が到着し、6名体制となりました。

4月7日には山崎直子宇宙飛行士らを乗せたスペースシャトル、ディスカバリー号が到着しました。日本人宇宙飛行士が2名同時に宇宙に滞在するのは初めてのことであり、日本人宇宙飛行士が次々と宇宙に出かけていく時代が到来したことを実感させるものでした。ディスカバリー号が運んできたレオナルド多目的モジュールには多くの補給物資や実験資材、実験用ラック等が積まれており、野口宇宙飛行士は山崎宇宙飛行士とともに物資の移設を行いました。

医薬品開発、エネルギー分野への応用など多彩な実験を行う

「きぼう」日本実験棟で行われる実験が本格化しています。野口宇宙飛行士が長期滞在中に行った実験には、次のようなものがあります。

6月2日午後0時25分に地球帰還を果たした

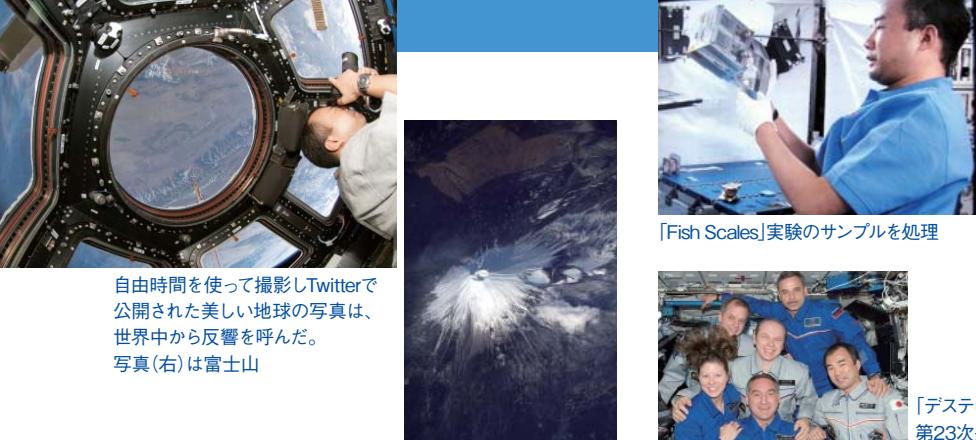
出典：JAXA/NASA　ビルインガルス

ISSでの平日の活動スケジュール（例）

食分）	体力訓練（120分）	ミッションタスク	昼食（90分）	ミッションタスク	地上との作業確認（120分）	洗顔等（30分）	朝食（60分）	睡眠

ミッションタスク（合計：約8時間）

洗顔等（30分）

地球へ帰還

自由時間を使って撮影しTwitterで公開された美しい地球の写真は、世界中から反響を呼んだ。写真（右）は富士山

「Fish Scales」実験のサンプルを処理

子アームの組み立て作業

「デスティニー」（米国実験棟）に集合した第23次長期滞在クルー

●宇宙空間における骨代謝制御：キンギョの培養ウロコを骨のモデルとした解析（Ｆｉｓｈ　Ｓｃａｌｅｓ／金沢大学鈴木信雄准教授）

キンギョのウロコを用いて、微小重力で骨量が減少していくメカニズムを解明するためのデータを取得することを目的としています。骨粗しょう症など地上で骨が弱くなる病気の治療法や治療薬の開発への貢献が期待されています。

●微小重力環境でのナノスケルトン作成（ＮＡＮＯＳＫＥＬＥＴＯＮ／ＪＡＸＡ／東京理科大学）

ナノスケルトンとよばれるナノスケールの骨格構造体を宇宙で生成し、新しい光触媒を開発することを目的としています。効率の高い太陽電池や、重油をガソリンに変えることのできる触媒、水質浄化や空気中の有害物質の除去などを行うための触媒の開発など、環境・エネルギー分野への応用が期待されています。

●タンパク質結晶生成実験（ＪＡＸＡ－ＰＣＧ／ＪＡＸＡ／大学／民間企業等）

新しい医薬品の開発などには、タンパク質の立体構造を細かく解析することが必要です。そのために、無重量環境を利用して結晶構造の欠損が少ない良質の結晶を得ようというのが、タンパク質結晶成長実験です。

●タンパク質ユビキチンリガーゼＣｂｌを介した筋委縮の新規メカニズム（Ｍｙｏ　Ｌａｂ／徳島大学二川健教授）

老化や病気などのために寝たままの状態でいると筋肉が委縮してしまいます。この実験は、筋肉の委縮に関係しているＣｂｌ－ｂという酵素の細胞内でのふるまいを調べることによって、筋肉が委縮するメカニズムの解明をめざしています。

●マランゴニ対流における時空間構造（Ｍａｒａｎｇｏｎｉ　ＵＶＰ／ＪＡＸＡ依田眞一教授）

マランゴニ対流とは表面張力により引き起こされる対流のことです。マランゴニ対流のメカニズムが解明されれば、半導体結晶などの高品質化、電子機器を冷却するヒートパイプの高効率化、化学分析や医療分析で重要となるマイクロ流体ハンドリング技術の確立などに応用できると期待されています。

また、京都市立芸術大学松井紫朗准教授による文化・人文社会科学パイロットミッション「宇宙庭」も行いました。

NASA、ESAの医学実験に被験者として協力

野口宇宙飛行士は被験者として、医学実験にも参加しました。

骨量減少・尿路結石予防対策に関する研究はＪＡＸＡとＮＡＳＡの共同研究で、骨粗しょう症の経口治療薬（ビスフォスフォネート剤）を週1回服用しました。若田光一宇宙飛行士が長期滞在した時のデータと比較されます。また、心電図のデータを取得したり、ＩＳＳに滞在する宇宙飛行士の身体真菌叢を調べるために、皮膚に付着したり、吸い込んだ微生物を採取しました。

野口宇宙飛行士は国際パートナーの実験も行いました。ＮＡＳＡが計画した宇宙空間で座高がどれだけ変化するかを調べる実験で、野口宇宙飛行士は被験者として参加しました。Ｒｅａｃｔｉｏｎ　Ｓｅｌｆ　ｔｅｓｔ もＮＡＳＡの実験で、睡眠不足、夜間勤務などによる概日リズムの障害、睡眠薬の使用などが宇宙飛行士の記憶力、計算力、反応時間などにどのような影響をもたらすかを調べる実験に、野口宇宙飛行士は被験者として参加しました。シロイヌナズナの根の成長を観察し、重力が植物の根の成長へ及ぼす影響を調べるＥＳＡの実験では、実験の準備作業を行いました。

ISSでの積み重ねを今後の日本の有人活動へつなげる

野口宇宙飛行士はソユーズ宇宙船のフライトエンジニアとして、ソユーズ宇宙船の打ち上げから着陸までの全行程を経験しました。

今後、ＩＳＳに長期滞在する日本人宇宙飛行士はソユーズ宇宙船に搭乗します。ロシアの有人宇宙技術は、ＮＡＳＡとは別の体系をもっており、野口宇宙飛行士の経験は、日本のこれからの有人宇宙活動にとってきわめて重要なものであるといえます。

野口宇宙飛行士はＩＳＳでの長期滞在を振り返り、「半年間はあっという間でした。1日1日の仕事をこなしていくことの積み重ねが半年間になりました。これからも、日本人宇宙飛行士が次々にＩＳＳに滞在します。そうしたことの蓄積によって、日本人やいろいろな国の人々が宇宙に住む時代に近づいていくのだと思っています」と語りました。

ISSでの宇宙飛行士の１日

ISSのクルーはグリニッジ標準時にもとづき、規則正しい生活をしています。朝6時に起床し、朝食後、２時間をかけて地上とその日の作業の確認を行います。この確認作業は作業効率のアップやミスの防止などの点できわめて大切です。それからは90分間の昼休みをはさんで約8時間が仕事をする時間です。その後、健康維持のためのエクササイズの時間が2時間あります。トレッドミルやエルゴメーターによる有酸素運動、抵抗運動器による筋力トレーニングを行います。

睡眠（約7時間）　自由時間（60分）　夕（60

分離カメラ DCAM 1 から撮影された画像。太陽光の反射特性を切り替え、姿勢制御に役立てる「液晶デバイス」の動作も確認できた。6月19日撮影

Q5 宇宙で膜が開いた写真は、どうやって撮ったの?「あかつき」のカメラで? あるいはH-IIAロケットの第2段から?

森先生　「あかつき」は、いっしょに金星に向かっているとはいえ、そんなに近くを飛んでいるわけではありません。IKAROS 搭載の小型カメラを分離して撮り、無線通信で IKAROS に、そして IKAROS から地球に送ってもらった写真です。

どうしても「自分撮り」は成功させたかったのでカメラは２機用意しました。撮影のタイミングやスピンの速度などを調整し、とてもうまく撮影できました。「膜がうまく展開できました！」と説明するにも、写真があるとないとでは説得力が違いますからね。

２機のカメラはそのまま飛んでいってしまいましたが、これらはちゃんと無線局に申請をし免許も得た、独立した１個の宇宙機でもあります。世界最小の人工惑星のはずなので、ギネスにも申請しようかと思っています。

イカロス君　小型カメラは DCAM1 ちゃんと DCAM ２くんの姉弟。とっても小さいけど、がんばって、僕の写真をとってくれたんだ。

Q6 自分自身の回転を速くしたり遅くしたり、自由にできるみたいですが、どんな仕組みを使っているの?

森先生　ノズルからガスを噴いて回転を変えたり姿勢を変えたりする「ガススラスタ」と呼ばれる機構を使っています。原理は大型の探査機や衛星とも同じですが、使っている燃料が違います。探査機や衛星では「ヒドラジン」という取扱いの難しい物質を使っていますが、IKAROS では「HFC−134A」という無害な物質（エアコンや冷蔵庫でも使われていました）です。今後、積極的に姿勢制御ができる小型衛星を手軽に作るためには、安全な燃料を使ったスラスタが必要になるだろうと考え、新しいスラスタに挑戦しました。「スポンジ」のような金属でタンクから液体燃料が出ていかないよう保持し、燃料の一部をヒーターで気化させてノズルから噴射して力を得る、という仕組みです。燃料を着火したり、高圧にする必要がないという点でも安全です。

イカロス君　種子島宇宙センターでHFC−134Aをたくさん飲んできたんだよ！それをちょっとずつ出しながら向きとか回るスピード変えてるんだ。

Q7 ガンマ線とか宇宙空間の塵（ちり）とか、いろんなものを観測しているようですが、ソーラーセイルと関係があるんですか。

森先生　大きな恒星は寿命の最後に大爆発し、X 線よりもさらにエネルギーの高い電磁波であるガンマ線を出します。それを詳しく観測するのが「GAP」です。また、宇宙空間に漂う細かなダストを観測する「ALADDIN」という観測機器も積んでいます。さらに「VLBI 送信器」もあり、IKAROS の軌道を正確に測定する工学実験も行います。ソーラーセイルと関係があるか、と聞かれると、直接は関係ないですね。「あかつき」の打ち上げ機会に同乗させてもらった IKAROS に、さらに相乗りしてきてくれたオプション機器です。

イカロス君　友達が多いほうが楽しーよ。「旅はみちびき」ってことわざもあるしー。（註・「みちづれ」です）

Q8 IKAROSの旅はいつまで続くの?

森先生　予定では打ち上げから半年ぐらいで一通りの実験を終えるのですが、その後も少しでも長く IKAROS の運用を続けたいです。IKAROS の膜面が地球の方向と重なり、地球と通信しにくい時期がどうしても出てきますが、それを乗り越えられれば、長期間の運用を続けることができると思っています。姿勢制御に使う「ガススラスタ」の燃料の残量が寿命を決めることになりそうです。

イカロス君　僕、みんなからの応援メッセージ持ってきてるから、いけるとこまで頑張るよ！みんながくれたメッセージは、先端マスっていう重りになって、その重りが僕の帆を広げてくれたんだよ。
みんな、どうもありがとう！

ミッションシーケンス

IKAROS プロジェクトサイトはこちら
http://www.jspec.jaxa.jp/ikaros_channel/

イカロス君のツイッターはこちら
http://twitter.com/ikaroskun

たくさんの人がIKAROSに興味を持ってくれてうれしい限りです。IKAROSのミッションは膜の展開以外にも世界初が目白押しです。皆さんと一緒に思う存分、イカロス君の冒険を楽しみたいと思います
（IKAROS運用室にて、右端が森先生）

夏休み特別編

「イカロス君にきいてみた」

小型ソーラー電力セイル実証機
IKAROS
8つのQ（クエスチョン）

5月21日、金星をめざす探査機「あかつき」とともに、H-IIAロケット17号機で打ち上げられた「IKAROS」。順調にミッションは進み、「○○○に成功！」「○○○を確認！」とグッドニュースが続いています。さらにツイッター（短文を登録するインターネット上の簡易ブログの仕組み）では、機体や運用の状況を日々知らせてくれる「イカロス君」が、その語り口や表情の豊かさで大人気！いろいろな質問も寄せられていますが、よく見てみると「イカロス君」の人気ではじめて「IKAROS」を知ったという人も少なくない様子です。そこで、森先生（プロジェクトマネージャの森治（もり・おさむ）助教）と「イカロス君」に、素朴な疑問をぶつけてみました。あなたの疑問、スッキリ解消するでしょうか？

Q1 IKAROSは「小型ソーラー電力セイル実証機」と呼ばれていますが、「展開後、1辺14m」ってかなり大きいと思います。いったいどこが小型なの？

森先生　膜は比較的大きいですが、本体は小さく、「IKAROS」全体の質量は約310kg。「あかつき」との相乗りで打ち上げられるくらいの小さい宇宙機です。「小型セイル」の実証機ではなく、「ソーラー電力セイル」の「小型実証機」なんです。

イカロス君　今はおっきーって言われている僕の帆も、将来は「ちっちゃー！」と言われるようになるのかなぁ？

Q2 「太陽光の圧力で加速に成功！」というニュースを見ました。これはどういう意味？

森先生　太陽の光にはモノを押す力があります。それはとても小さく、IKAROSの膜全体を合わせても、地球上で1円玉の5分の1ほどのモノを持ち上げる力にしかすぎません。でもIKAROSの速度の変化を精密に測ってみると、どのくらい加速したかが分かるんです。膜の展開からの約1か月で、約10m／秒の加速が得られました。これをずっと続けていけば、燃料消費なしに、大きな加速が得られます。宇宙空間では空気の抵抗を受けないのがポイントです。ちなみに膜には薄い太陽電池が貼り付けてあって発電もできます。次の計画ではもっとたくさん発電して強力なイオンエンジンを運転し、「太陽系を自由に航海する未来」を目指します。

イカロス君　僕はフワフワ飛んでるだけだからよく分からないんだ。でも、ちょっとだけ太陽から押される気がする。

Q3 金星に着いたら、何をするんですか？

森先生　金星を目指すルートには乗っていますが、探査機である「あかつき」とは違い、目的地は金星ではありません。地球から遠く離れた惑星間軌道でないとできない、さまざまな実験や実証をするための宇宙機なんです。だから金星には立ち寄らず、その近くを通りすぎてずっと太陽の周りを回ることになります。

イカロス君　きんせいちゃんへのたびを楽しみながら、途中でいろいろな実験をしているよ！地球とは毎日お話しをしてるの。うすださんとお話しすることが多いよ。（うすださん＝臼田宇宙空間観測所）

Q4 H-IIAロケットの軌道投入精度はすごくよかったそうですが、トクしたことはありましたか？

森先生　旅そのものが目的なので実は軌道投入の精度はあまり関係がなかったんです。惑星間軌道に出られればＯＫだった。でも金星を目指す「あかつき」が、初期の軌道修正が必要ないくらいの素晴らしさだったので、IKAROSの運用にも余裕ができたのは事実です。アンテナの使用時間を譲ってもらえたりしたんですよ。また、軌道だけでなくロケットからの分離時の姿勢もリクエスト通り。「毎分5回転の回転を与え、太陽に向けて」とお願いし、「向きは多少ずれる可能性がありますよ」と聞かされていたんですが、結果的には「どんぴしゃ」でした。

イカロス君　宇宙にはじめて出たときはちょっとだけ不安だったけど、はやぶさ兄さんがいろいろ教えてくれてたので怖くなかったよ！

間を舞う鮮やかな光跡のアート「Spiral Top」

リンゴの落下から天体の運行までを統一的に説明する万有引力の法則。
それを記述する数式の「美しさ」を理解するには、
数学や物理学に関するそれなりの素養が必要かもしれないが、
しかしこの写真を「美しい」と感じるのに理屈は不要だ。
「きぼう」文化・人文社会科学利用パイロットミッションの
一環として実施された「Spiral Top（スパイラル・トップ）」
の代表提案者、逢坂卓郎筑波大教授を
自宅アトリエに訪ねた。

（写真・文／喜多充成）

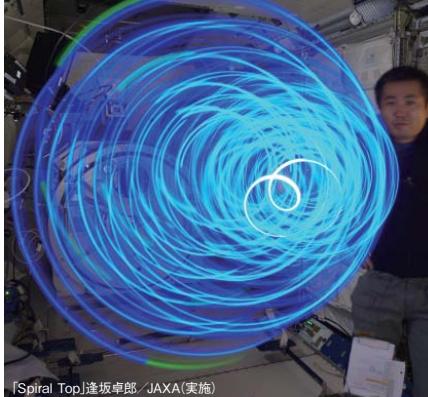
逢坂卓郎
OSAKA Takuro
筑波大学大学院人間総合科学研究科芸術学系教授。2001年よりJAXA（当時宇宙開発事業団）共同研究として、宇宙空間での芸術の可能性を問う「Space Arts Project」を提案。放物線飛行による微小重力環境での遊泳実験を3回行うなど、光と生理、流体と音波による新しいアートの提案を行っている。「JAXAの取り組みは芸術家にとって、大切な宝です」

「Spiral Top」逢坂卓郎／JAXA（実施）

無重力空

「Spiral Top」逢坂卓郎／JAXA(実施)

予定外の「写真」に感激

「芸術に取り組んできた者としてすごく嬉しいことに、最近は理工学系のシンポジウムなどにもお声がかかります。今回の試みを別の言い方で表現すると『無重力環境下でのニュートン力学の可視化』となるようですが、もちろんそんなことを意識して取り組んだわけではありません（笑）」

柔らかい光の差し込むアトリエで笑いながら解説する逢坂教授には、本誌でも以前、水でできた球体の表面に赤や青、金色などのインクを流す「墨流し水球絵画」（グレゴリー・シャミトフ宇宙飛行士実施）を紹介する記事でご登場いただいた。前回は生命の根源に関わる水と地球をモチーフにした作品だったが、今回の挑戦は「スパイラル・トップ」と名付けられた光のアート。

スパイラルとは銀河からDNAまでに共通するパターンを意味する「らせん」のこと。そしてトップとはコマ（独楽）。

見ようによっては竹とんぼのようにも見えるこの道具の4本の腕には、多数のLED（発光ダイオード）が仕込まれており、次々と色が変化するようプログラムされている。

そして無重力空間として最大の容積を誇る日本の実験棟「きぼう」が、この作品の舞台。このスパイラル・トップを、回転を与えながらその空間に放つと、色鮮やかな「らせんの光跡」が空間に描かれる（写真）。

「当初はビデオ撮影だけの予定でしたが、若田さんはどうすれば光跡を残せるか、自由時間まで費やして写真撮影に挑戦してくれた。それが予想を超えるほど素晴らしい出来でした。感激しました」

「きぼう」の内部を舞う鮮やかな光跡。それを静かに見つめる若田宇宙飛行士の視線が、作品に輝きを加えている。

「Spiral Top」逢坂卓郎／JAXA(実施)

エクストラな努力に感謝

若田宇宙飛行士の体の一部がぼやけていたり半透明に見えたりするカットもあるが、これは光跡を記録するため長時間露光で撮影したから。そして少しでもカメラを扱ったことのある人なら、この種の撮影で、しかもセルフタイマーを併用する場合には、絞り値の設定やカメラの固定や画角などに、多くの試行錯誤が必要であることを知っている。

「きっと若田さんは、エンジニアとしての血が騒いだ部分もあったかもしれませんね」

と、逢坂教授はその努力に敬意を表した。

「Spiral Top」逢坂卓郎／JAXA(実施)

複雑な動きを演出する工夫

無重力空間で、先を開いた「ペンチ」を回転させると、握りの部分が上になったり下になったりと不思議な挙動を見せる。毛利宇宙飛行士による「おもしろ宇宙実験」でも試みたテーマだが、一見不規則に変化しながら回転が続くスパイラル・トップも似た部分がある。宇宙を舞いながら回転速度が変わったり、軸が反転したりと複雑な動きを見せるのだ。さらに、より複雑な動きのパターンを生成させるため、4本の腕の先端におもりを脱着する機構も備えている。

「面白い現象をいかに美しく見せるかに知恵を絞りました。どういう素材を使い、どういう色の組み合わせで、どういう動きを演出するか。単に見せるだけでなく、結果が美しくないと、僕の仕事としては半分以下だと思っていますから」

一貫したテーマは「光」

「学生時代、山歩きをしていた時期がありました。作品に満足できず、造形から離れたくて北アルプスの唐松岳に登った。その時に見た夕暮れのシーンに大きな衝撃を受けました。季節は秋。太陽が日本海側に移動するにつれ、太平洋側の空は暗くなり、西の空はどんどん色が変わる。そして山脈の下からわき上がる雲がその光を映す……。立ち止まったまま何時間も見入ってしまいました。以来、《光》は私の作品の重要なテーマとなりました」

初期の作品の中には、ネオンサインに用いられるトランスで電圧を上げ、気圧を下げたアクリル容器の中でグロー放電を続けるというものもあった。ちなみにその作品を約1か月間展示した後、アクリルの内側に黄緑色の粉末が付着し、妙なニオイが漂った。まさにユーリーとミラーが試みた、生命の起源を探る実験（1953年、シカゴ大学）と同じことを、逢坂教授は芸術作品として試行していたわけだ。

「地球上の生命はすべて。光に大きな影響を受けています。生まれてから死んでいくまでの過程の中で光と密接に関わっている。作品を作るプロセスのなかで多くの知見を得て、《光》をテーマに作品を作っていこうと強く思うようになりました。それに、光を伴う現象は、基本的に記録には残せない。記憶の中にしか残らないけれど、その分、訴える力が強い」

宇宙にアートがあるとすれば

さらに確信を深めたのが、2005年夏にスペースシャトルによる初フライトを終えた、野口聡一宇宙飛行士の東京芸術大学での報告会でのひとこと。

「宇宙飛行士の言葉に、目からウロコが落ちるような体験を何度もしてきましたが、野口さんはその時『もし宇宙にアートがあるとすれば、それは光だと思う』とおっしゃった。勇気づけられたというか、自分がずっとやってきたことが宇宙でも通用することを知り、励まされる思いでした」

逢坂教授は「自然の理（ことわり）や物理の法則を『美しく伝えたい』」と、最後に今後の作品制作の決意を語ってくれた。

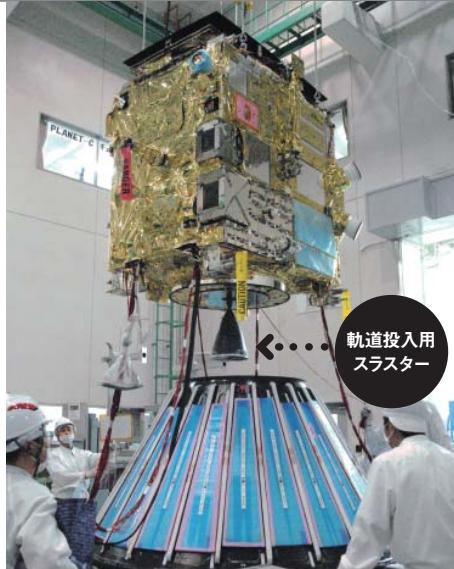
最　前　線

INFORMATION 1

金星探査機「あかつき」セラミックスラスターによる世界初の軌道上実証に成功

5月21日に打ち上げられた金星探査機「あかつき」は、6月28日に500N（ニュートン）[2]の軌道制御エンジン（OME）の噴射を行い、新規に国内で開発された窒化珪素（Si_3N_4）製セラミックスラスターの世界初の軌道上実証に成功しました。今回の噴射は金星への接近条件を調整するためだけでなく、金星周回軌道投入の際のエンジンの出力特性を把握するためにも不可欠な作業です。次回の軌道制御（微調整）は11月上旬頃に実施予定で、金星への最接近および金星周回軌道への投入は12月7日となる予定です。

INFORMATION 2

アジア太平洋地域の発展途上国における衛星技術の活用促進に関して協力関係を締結

JAXAとアジア開発銀行（ADB）は、災害管理、気候変動の緩和・適応、森林監視、水資源管理への衛星技術の活用促進に関して協力関係を締結することで合意し、7月21日ADBマニラ本部で行われた調印式に黒田東彦総裁と立川敬二JAXA理事長が出席し、協力意向書に署名しました。ADBでは、今回の取り決めに基づき、衛星から取得されるデータを活用したADBプロジェクトへの技術支援や、加盟途上国の政府関係者を対象とした衛星データ活用などのトレーニングによる能力向上にも取り組むほか、ワークショップなどによる協力成果をJAXAと共有し、JAXAから専門的人材の受け入れを検討しています。

©アジア開発銀行

INFORMATION 3

JAXAシンポジウム2010「世界に羽ばたく日本の宇宙開発」開催

7月8日、JAXAシンポジウム2010「世界に羽ばたく日本の宇宙開発」が開催されました。第1部「我が国のロケット開発の集大成『H－IIB』」、第2部「日本初の宇宙船　HTVの挑戦」、第3部「新たな有人宇宙時代の実現に向けて」の3つのテーマを取り上げ、今までに得られた成果やJAXAが目指す将来像が紹介されました。若田光一宇宙飛行士は、「きぼう」日本実験棟でのさまざまな実験や、各国の宇宙飛行士とのISSでの暮らしを映像と共に紹介。「人が種として存続していくために、有人宇宙活動は必要。科学技術立国である日本が、率先して展開していかなければならない」と語りました。

A 陸域観測技術衛星「だいち」が撮影した、鮮明な東京都心の画像に見入る参加者
B JAXAが目指す宇宙開発について3部構成でトークセッションが行われた
C 現在若田宇宙飛行士は、JAXAの宇宙飛行士グループ長、NASAではISS運用ブランチのチーフとして活躍している
D 虎野吉彦プロジェクトマネージャ（右）と山中浩二フライトディレクタ（左）がHTVの今後の展開について紹介

INFORMATION 6

JAXAウェブサイトを見よう！

ウェブマスタのとっておき、おすすめコンテンツ

宇宙航空分野をもっと身近に感じ、楽しみながら知識を深めていけるコンテンツが満載のウェブサイト、「JAXAクラブ」をご存知でしょうか。
サイト内の「宇宙実験室」では、手作りでできて、宇宙航空技術の一端に触れることのできる実験をたくさん紹介しています。
着陸船の実験では、実際にビルの屋上からうずらの卵が割れないように落としてみたり、太陽電池の実験では、いろいろな花を使って光で発電する電池を作ってみました。
このように「宇宙実験室」ではこれからも身の回りの物を使った実験を、多数紹介していく予定です。お子さんだけではちょっと難しい実験もあるので、ぜひ親子でこの夏休みに挑戦してみてはいかがでしょうか？本やインターネットで調べるだけよりも実際に自分の手で実験することで、貴重な体験ができること請け合いです。

JAXAクラブ　宇宙実験室
http://www.jaxaclub.jp/space_lab/list.html

INFORMATION 4

小型科学衛星「れいめい」が日本航空宇宙学会の2009年度技術賞（プロジェクト部門）受賞

齋藤宏文プロジェクトマネージャ（右）とプロジェクトサイエンティストの東京大学大学院理学研究系平原聖文教授（左）

2005年に打ち上げられたオーロラ観測をする小型科学衛星「れいめい」が、日本航空宇宙学会の2009年度技術賞（プロジェクト部門）を受賞しました。「れいめい」は小型ながらも0・05度という高い3軸姿勢制御機能を持ち、この重量クラスの衛星としては世界トップクラスの高機能を誇ります。齋藤宏文プロジェクトマネージャは「この受賞は、『れいめい』の考え方や技術蓄積を日本に定着させる事が次のミッション（使命）なのですよ、という趣旨のようにも思えています」と語りました。

INFORMATION 5

統合地球エネルギー・水循環観測プロジェクトの国際調整部会が「第12回日本水大賞国際貢献賞」受賞

宇宙利用ミッション本部が参加している統合地球エネルギー・水循環観測プロジェクト「CEOP」の国際調整部会「ICB」が、第12回日本水大賞の「国際貢献賞」を受賞しました。日本水大賞とは、秋篠宮文仁親王殿下が名誉総裁となって、現代社会の持続可能な発展を根底から揺るがす可能性がある地球規模の気候変動による水循環系の健全化に寄与した個人、団体を表彰するものです。CEOPは、東京大学、気象庁、JAXAが核となって組織されており、2001年の発足以来、世界の先導役として地球水循環データの統融合研究を共同で実施しています。今回の受賞は、本プロジェクトを推進するために欠かせない国際協力について多大の成果を挙げたことが評価されたものです。

JAXA's
宇宙航空研究開発機構機関誌 No.033

発行企画●JAXA（宇宙航空研究開発機構）
編集制作●財団法人日本宇宙フォーラム
デザイン●Better Days
印刷製本●株式会社ビー・シー・シー
2010年8月1日発行

親子で宇宙を楽しもう JAXA夏のイベント開催のお知らせ

JAXAでは、親子で楽しんでいただけるイベントを
夏休みにあわせてご用意しています。
筑波宇宙センターの新展示館オープンから、
小惑星探査機「はやぶさ」関連の催しまで、
この機会にぜひご参加いただき、
夏の思い出を作ってみてはいかがでしょうか。

名古屋

「JAXAシンポジウム2010～世界に羽ばたく日本の宇宙開発～」名古屋で開催

プログラム
■トークセッション1
我が国のロケット開発の集大成「H-ⅡB」
JAXA H-ⅡBプロジェクト プロジェクトマネージャ 中村富久
■トークセッション2
日本初の宇宙船　HTVの挑戦
JAXA HTVプロジェクト プロジェクトマネージャ 虎野吉彦
フライトディレクタ　山中浩二
●開催日時／9月10日（金）
●開催場所／テレピアホール
名古屋市東区東桜1-14-27
お問い合わせ先：052-954-1165
http://www.tokai-tv.com/event/telepia/

筑波

筑波宇宙センター 新展示館オープン

7月17日、筑波宇宙センターに新しい展示館がオープンしました。入り口では1／100万スケールの美しい地球が来館者を出迎えます。実物やほぼ実物に近い試験モデルを展示し、実績や成果について詳しくご紹介しています。
●開館時間／10:00～17:00
●休館日／年末年始
●入場無料（無料駐車場あり）
※事前の申し込みが必要ですので詳しくは見学案内係 029-868-2023までお問い合わせください。

筑波宇宙センターの新展示館では、「人工衛星による宇宙利用」「有人・宇宙環境利用」「ロケット・輸送システム」「宇宙科学研究・月惑星探査」など、エリアごとに最先端の宇宙開発に触れることができます

「はやぶさ」の回収したカプセル展示

前面ヒートシールド、背面ヒートシールド（8月2日、3日のみ）その他、カプセル関係物品が筑波宇宙センターで公開されます。
●開催日時／8月2日（月）～6日（金）
●開催場所／筑波宇宙センター

東京・丸の内

「おかえり、はやぶさ～はやぶさ応援ありがとうイベント」

「はやぶさ」が成し遂げた科学的・技術的成果を紹介しながら、さまざまな困難をあきらめずに乗り越えていくことの大切さを伝えていきます。
※展示物、展示期間には変更の可能性があります。
【カプセル関係物品展示】
●開催日時／8月15日（日）～19日（木）
●開催場所／JAXAi
【トークショー】
●開催日時／8月15日（日）
●開催場所／丸の内オアゾ1階「○○（おお）広場」

「JAXA i キッズデー 2010」

JAXA職員による楽しいトークセッション、バラエティに富んだ実験・工作教室など、盛りだくさんの内容でお送りします。
●開催期間／8月17日（火）～19日（木）
●開催場所／丸の内オアゾ1階「○○（おお）広場」

背景の地図は「だいち」の観測画像などを加工したもの

宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

広報部　〒100-8260 東京都千代田区丸の内1-6-5
丸の内北口ビルディング3階
TEL:03-6266-6400　FAX:03-6266-6910

JAXAウェブサイト　http://www.jaxa.jp/
メールサービス　http://www.jaxa.jp/pr/mail/